

基于小世界网络的商业合作信用演化仿真^{*}

茹保锋, 张存禄

(厦门大学 管理学院, 福建 厦门 361000)

摘 要: 基于小世界网络理论构建了一个企业合作关系网络, 提出了自我反省与模仿集体相结合的个体企业学习策略。通过 NetLogo 对经济区域商业合作信用演化过程进行了仿真。结果表明, 在无管制的情况下, 经济区域的商业信用情况会不断恶化, 而失信惩罚协议以及信用公开机制都能有效地改善经济区域的商业合作信用。

关键词: 多主体仿真; 演化博弈; 小世界网络; 合作信用

中图分类号: TP301.5 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2013)12-3568-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.12.012

Simulation on credit evolutionary of business cooperation based on small world network

RU Bao-feng, ZHANG Cun-lu

(School of Management, Xiamen University, Xiamen Fujian 361000, China)

Abstract: Based on theory of small world network, this paper created an enterprises cooperation relationship network. It put forward a composite agent-learning strategy which including learning from itself and learning from others. Using the NetLogo, it simulated the cooperation credit evolution process of an economic region. The simulation results indicate that the economic region's cooperation credit will individually descend to near zero in the case of without control. However, punishment to the betrayer or public announcement of the betrayer can improve the economic region's cooperation credit level effectively.

Key words: multi-agent simulation; evolutionary game; small world network; cooperation credit

顾客需求的多样化与市场和需求的不确定性日益增强, 导致企业很难依靠自身的力量维持其在行业中的领先地位, 因此通过合作获取外部资源已成为企业增强竞争优势的重要方式^[1]。然而商业活动中的失信行为增加了经济活动中的不确定性, 提高了交易成本, 造成商业活动效率的损失^[2]。因此, 如何提高商业合作的信用是一个迫切的、具有现实意义的话题。

企业合作信用问题日益得到学者们的关注, 黄敏强^[3]基于演化博弈分析了企业在新产品研发合作中的机会主义行为; 张洪潮^[4]对合作创新中的违约行为进行了研究, 指出加大违约成本和对收益的合理化分配会降低企业合作违约概率; 何喜军等人^[5]探讨了供应网络中处于不同位置的核心企业和非核心企业两个群体间的成员投入合作时搭便车的行为; Chaudhuri 等人^[6]通过实证研究发现, 高度的相互信任可以有效地减少合作中的背叛行为。这些研究的对象都是两个主体之间的合作信用, 而针对一个经济区域所有企业合作信用的研究却比较少。在一个经济区域中, 每个企业同时与多个企业发生合作关系, 各个企业之间的合作关系相互交织, 形成了一个巨大的复杂关系网络。网络中的个体企业分别根据自身的经历和其他企业运营信息不断调整自身商业合作信用, 最终共同塑造了一个经济区域的商业合作信用水平。本文基于小世界网络理论构造的企业合作信用演化模型, 较为准确地刻画了一个经济区域商业信用演化过程, 仿真分析的结果对改善一个经济区域的商业合作信用有实际的指导意义。

1 模型的构建

假设在某一经济区域内有多家企业, 每个企业可与多个企业存在商业合作关系, 所有企业之间的合作关系网络具有小世界网络的特征。存在商业合作关系的企业之间在每一阶段发生一次商业活动, 参与商业活动的企业双方有欺骗和诚信两种策略可供选择。如果企业 A 在某阶段以概率 $(1-x)$ 欺骗合作企业, 则为企业 B 在该阶段的商业合作信用值, 企业群在该阶段的商业合作信用值为所有企业商业合作信用值的平均值。每个阶段结束后, 参与者依据自身当前阶段的商业合作信用值与收益、自身过去的商业合作信用值与收益、企业群当前阶段的商业合作信用值与平均收益值等信息, 在模仿与学习的基础上调整自身的合作信用情况。企业群的商业合作信用值会随着各个参与主体商业信用值的不断调整逐渐变化。

1.1 企业合作关系网络的构建

小世界网络是指具有较小的特征路径长度又具有较大的集聚系数的网络, 是介于随机网络与规则网络之间的一种网络结构。大量的实证研究发现, 大多数现实生活中的网络都具有小世界特征^[7]。如张丽娟等人^[8]通过实证发现汽车制造业的汽车合作网络具有小世界性。小世界网络模型的构造算法是: 从一个环状规则网络开始, 网络中包含 N 个节点, 每个节点向与它最近邻的 K 个节点连出 K 条边, 并满足 $N \gg K \gg \ln(N)$, 对每个节点的每条边以概率 $P(0 < P < 1)$ 重连, 对每个

收稿日期: 2013-04-19; 修回日期: 2013-06-04 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71072054)

作者简介: 茹保锋(1989-), 男, 河南人, 硕士研究生, 主要研究方向为复杂适应系统(876409159@qq.com); 张存禄(1965-), 男, 河南人, 教授, 主要研究方向为复杂适应系统、供应链风险管理。

节点重复上述过程,得到的网络称为小世界网络。企业合作关系属于比较典型的社会关系,企业的合作关系网络具有小世界特征,构建的企业合作关系网络如图 1 所示。

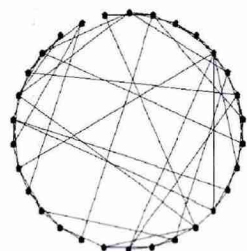


图 1 企业合作关系网络

1.2 合作企业信用博弈模型

两个企业之间的合作行为得到了广泛的研究,本文采用文献[1]中提出的企业合作博弈模型。假设参与合作的企业双方分别为企业 A 和 B,两个企业在合作中分别都有合作和欺骗两种策略可供选择。若两个企业都采用诚信策略,则双方都会获得价值为 U ($U > 0$) 的收益;若两个企业都采用欺骗策略,则两者都将一无所获,即收益为 0;若其中一个企业采用欺骗策略,另一个企业采用诚信策略,则采用诚信策略的企业遭受的欺骗损失为 R ($R > 0$),采用欺骗策略的企业获得的收益为 S ($S > U$)。双方博弈的收益矩阵如表 1 所示。

表 1 合作企业博弈收益矩阵

策略	收益	企业 B	
		诚信	欺骗
企业 A	诚信	U, U	$-R, S$
	欺骗	$S, -R$	$0, 0$

1.3 企业主体信用学习算法

纳什均衡是经典博弈论中最重要的概念,其得以实现的前提是现代主流博弈论的完全理性假设^[9]。另外,Nash 均衡的求解是一个非常困难的问题,Nash 只证明了 Nash 均衡的存在性,并没有给出 Nash 均衡的求解过程^[10]。演化博弈以有限理性和学习能力代替了传统博弈论关于完全理性的假定,有限理性决定了博弈双方不可能在每一次博弈中都能找到最优的均衡点;演化博弈以一种动态的框架来分析系统均衡及达到均衡的过程,从而更准确地描述系统的发展变化^[11]。学习机制是演化博弈的一个核心内容,目前应用最广的学习策略是动态复制方程。复制动态方程体现了生物进化的思想,即高于群体平均收益的策略会被更多地被个体采用,低于群体平均收益的策略被个体采用的数量将会很少^[12],其实质是个体向群体学习的一个过程。实际表明,智能个体的学习对象包括群体和自身,即个体的决策不仅仅是模仿和学习他人或者群体(横向学习)的结果,自身的经历(纵向学习)也是影响决策的一个重要因素。因此,横向学习与纵向学习相结合的学习机制更加符合实际情况。

模型假设有 N 个企业,与企业 i 存在商业合作关系的企业有 k_i 个。企业 i 在 t 阶段的商业合作信用值为 x_{it} ,即以 x_{it} 的概率诚信地对待合作企业。每阶段企业 i 与 k_i 个合作企业的合作关系存在四种类型:A 型—— i 企业选择诚信策略,合作者选择诚信策略;B 型—— i 企业选择诚信策略,合作者选择欺骗策略;C 型—— i 企业选择欺骗策略,合作者选择诚信策略;D 型—— i 企业选择欺骗策略,合作者选择欺骗策略。假设 t 阶段与企业 i 合作关系为 A 型、B 型、C 型、D 型的个数分别为

$k_{it}^1, k_{it}^2, k_{it}^3, k_{it}^4$, 满足 $k_i = k_{it}^1 + k_{it}^2 + k_{it}^3 + k_{it}^4$, 则阶段 t 企业 i 与其他企业进行商业合作所获得的收益为

$$r_{it} = k_{it}^1 \times U + k_{it}^2 \times S - k_{it}^3 \times R \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

阶段 t 企业 i 与单个企业进行商业合作的平均收益为

$$\bar{r}_{it} = \frac{r_{it}}{k_i} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

阶段 t 平均每对企业进行商业合作的收益为

$$\bar{r}_t = \left(\sum_{i=1}^N \bar{r}_{it} \right) / N \quad (3)$$

阶段 t 平均每对企业的平均商业合作信用值为

$$\bar{x}_t = \left(\sum_{i=1}^N x_{it} \right) / N \quad (4)$$

令 $x_{i,t-j}, \bar{r}_{i,t-j}$ 分别为企业 i 在第 $t-j$ ($t > j$) 阶段的商业合作信用值和单次合作平均收益,则前 m ($m > 0$) 阶段企业 i 的平均信用度为

$$\bar{x}_{i,t,m} = \frac{\sum_{j=1}^m x_{i,t-j}}{m} \quad (m < t) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

$$\bar{x}_{i,t,m} = \frac{\sum_{j=t-m+1}^{t-1} x_{i,t-j}}{t-1} \quad (m \geq t) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

前 m ($m > 0$) 阶段企业 i 的平均收益为

$$\bar{r}_{i,t,m} = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{r}_{i,t-j}}{m} \quad (m < t) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

$$\bar{r}_{i,t,m} = \frac{\sum_{j=t-m+1}^{t-1} \bar{r}_{i,t-j}}{t-1} \quad (m \geq t) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

1) 横向学习准则 阶段 t , 若企业 i 的商业合作信用值高于平均商业合作信用值 ($x_{it} > \bar{x}_t$), 企业合作平均收益低于整体企业合作平均收益 ($\bar{r}_{it} > \bar{r}_t$), 则企业 i 会在 $t+1$ 阶段提升自身的商业合作信用值;若企业 i 的商业合作信用值高于平均商业合作信用值 ($x_{it} > \bar{x}_t$), 企业合作平均收益高于整体企业合作平均收益 ($\bar{r}_{it} < \bar{r}_t$), 则企业 i 会在 $t+1$ 阶段降低自身的商业合作信用值;若企业 i 的商业合作信用值低于平均商业合作信用值 ($x_{it} < \bar{x}_t$), 企业合作平均收益高于整体企业合作平均收益 ($\bar{r}_{it} > \bar{r}_t$), 则企业 i 会在 $t+1$ 阶段降低自身的商业合作信用值;若企业 i 的商业合作信用值低于平均商业合作信用值 ($x_{it} < \bar{x}_t$), 企业合作平均收益低于整体企业合作平均收益 ($\bar{r}_{it} < \bar{r}_t$), 则企业 i 会在 $t+1$ 阶段提升自身的商业合作信用值。设阶段 $t+1$ 企业 i 基于横向学习对自身商业合作信用的调整方向为 O_{it}^1 , 则

$$O_{it}^1 = \begin{cases} 0 & (x_{it} - \bar{x}_t)(\bar{r}_{it} - \bar{r}_t) = 0 \\ 1 & (x_{it} - \bar{x}_t)(\bar{r}_{it} - \bar{r}_t) > 0 \\ -1 & (x_{it} - \bar{x}_t)(\bar{r}_{it} - \bar{r}_t) < 0 \end{cases} \quad (9)$$

基于横向学习,阶段 $t+1$ 企业 i 的商业合作信用值为

$$x_{i,t+1}^1 = x_{it} + O_{it}^1 \times L \quad (10)$$

其中: L ($L > 0$) 为单个阶段的学习步长。

2) 纵向学习准则 假设企业的记忆时长为 m ($m > 0$), 则企业通过比较当期的信用值、当期的平均收益、前 m 期的平均信用值、前 m 期的平均收益确定下一阶段的商业信用值。学习过程与横向学习类似,假设阶段 $t+1$ 企业 i 基于纵向学习对自身商业合作信用的调整方向为 O_{it}^2 , 则

$$O_{it}^2 = \begin{cases} 0 & (x_{it} - \bar{x}_{i,t,m})(\bar{r}_{it} - \bar{r}_{i,t,m}) = 0 \\ 1 & (x_{it} - \bar{x}_{i,t,m})(\bar{r}_{it} - \bar{r}_{i,t,m}) > 0 \\ -1 & (x_{it} - \bar{x}_{i,t,m})(\bar{r}_{it} - \bar{r}_{i,t,m}) < 0 \end{cases} \quad (11)$$

基于纵向学习,阶段 $t+1$ 企业 i 的商业合作信用值为

$$x_{i,t+1}^2 = x_{it} + O_{it}^2 \times L \quad (12)$$

3) 横向学习与纵向学习相结合的复合学习准则 企业同时根据群体的信息和个体的经历调整自身的状态,阶段 $t+1$ 企业 i 的商业合作信用值为

$$x_{i,t+1} = x_{it} + [\alpha O_{it}^1 + (1-\alpha) O_{it}^2] \times L \quad (13)$$

其中: $\alpha (0 < \alpha < 1)$ 为群体信息相对于个体经历的重要性比例。

2 仿真分析

NetLogo 由 Uri Wilensky 于 1999 年提出,后由美国 Northwestern University 的关联学习中心持续开发,是基于 Java 语言的可编程建模平台,可对自然和社会现象进行仿真。目前,NetLogo 是最为专业的基于 agent 的仿真平台^[13],特别适用于随着时间演化的复杂系统建模与仿真。本文用 NetLogo 中的 Turtles 代替企业,用 Links 代表企业之间的关系。令系统中的企业数 $N=100$; 博弈支付矩阵元素 $U=3, S=5, R=5$; 企业的记忆时长 $m=5$; 企业学习的步长 $L=0.005$; 群体信息相对重要度 $\alpha=0.7$; 企业的初试商业合作信用值 x 为 $[0, 1]$ 的随机数。经济区域企业商业信用值 (\bar{x}_t) 和平均收益 (\bar{r}_t) 演化曲线如图 2 和 3 所示。将企业的初试商业合作信用值提升至 $[0.8, 1]$ 经济区域企业商业信用值 (\bar{x}_t) 和平均收益 (\bar{r}_t) 演化曲线如图 4 和 5 所示。仿真结果显示,在无惩罚机制的情况下,企业在欺骗行为高额收益的诱导下,逐步降低商业信用,最终导致整个经济区域商业信用环境恶化,商业活动盈利能力丧失,并且这种演化与经济区域的初始商业信用环境状态无关。

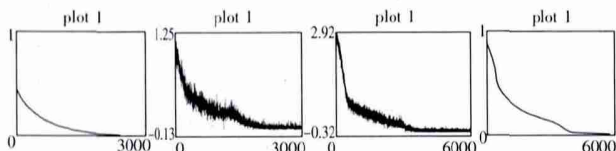


图2 经济区域信用值($\bar{x}_0=0.5$)

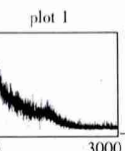


图3 企业平均收益($\bar{r}_0=0.5$)

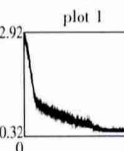


图4 经济区域信用值($\bar{x}_0=0.9$)

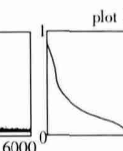


图5 企业平均收益($\bar{r}_0=0.9$)

在商业合作中,企业为了防止因为合作伙伴的欺骗行为而使自身遭受损失,企业需要与合作伙伴签署违约惩罚协议。假设协议规定,单方面的违约企业需要支付合作伙伴价值为 P 的资金作为补偿。阶段 t 企业 i 与其他企业进行商业合作所获得的收益为

$$r_{it} = k_{it}^1 \times U + k_{it}^3 \times (S - P) - k_{it}^2 \times (R - P) \quad (14)$$

假定 $P=4$,经济区域企业商业信用值 (\bar{x}_t) 和平均收益 (\bar{r}_t) 演化曲线如图 6 和 7 所示。仿真结果表明,通过引入惩罚机制,该区域的商业信用环境逐步得到改善,企业商业活动的盈利能力明显提升。

健全的商业信用评价信用机制也是遏制经济区域商业信用恶化的有力措施。假设当地政府会及时地公布上一阶段企业的违约情况,商业信用较差的企业会在下一阶段的商业合作中付出更多的合作成本。企业 i 在阶段 t 的违约率为

$$y_{it} = \frac{k_{it}^3 + k_{it}^4}{k_i} \quad i=1, 2, \dots, N \quad (15)$$

阶段 t 企业 i 与其他企业进行商业合作所获得的收益为

$$r_{it} = k_{it}^1 \times U + k_{it}^3 \times S - k_{it}^2 \times R - y_{it} \times C \quad (16)$$

假定 $C=10$,经济区域企业商业信用值 (\bar{x}_t) 和平均收益 (\bar{r}_t) 演化曲线如图 8 和 9 所示。仿真结果显示,健全的信用机

制对遏制经济区域商业信用恶化有着显著的效果。

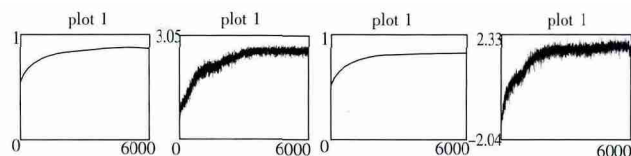


图6 惩罚机制下经济区域信用值

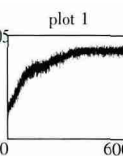


图7 惩罚机制下企业平均收益值

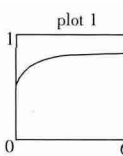


图8 信用约束下经济区域信用值

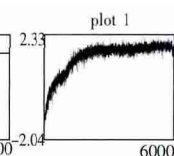


图9 信用约束下企业平均收益值

3 结束语

本文构建了一个企业合作关系复杂性网络,并基于 NetLogo 对企业合作关系的信用演化过程进行了仿真。仿真结果表明,在无管制的情况下,无论当前经济区域的商业信用如何,随着时间的推移,其商业合作信用都会恶化至互相欺骗的状态。然而失信惩罚协议和信用公开机制都能有效地改善经济区域的商业合作信用。因此,若要改善某一经济区域的商业合作环境,当地政府可以从两个方面入手: a) 健全商业法规,对商业违约行为进行严厉的处罚,鼓励企业在合作之前签署规范的商业合作协议; b) 建立商业合作信用公开机制,及时公示违约企业名单。

研究的不足之处在于模型中企业之间的合作关系是保持不变的,而现实中随着时间变化企业会不断地更换其合作伙伴。动态和合作关系网络信用演化过程将是下一步研究的问题。

参考文献:

- [1] 罗剑锋. 基于演化博弈理论的企业间合作违约惩罚机制[J]. 系统工程, 2012, 30(1): 27-31.
- [2] 张维迎, 柯荣住. 信任及其解释: 来自中国的跨省调查分析[J]. 经济研究, 2002(10): 59-70.
- [3] 黄敏. 基于演化博弈的供应链协同产品开发合作机制研究[J]. 中国管理科学, 2010, 18(6): 155-162.
- [4] 张洪潮. 非对称企业合作创新的进化博弈模型分析[J]. 中国管理科学, 2010, 18(6): 163-170.
- [5] 何喜军, 武玉英. 基于演化博弈的供应网络企业受益与合作行为的关系仿真[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(3): 825-828.
- [6] CHAUDHURI A, SOPHER B, STRAND P. Cooperation in social dilemmas, trust and reciprocity[J]. Journal of Economic Psychology, 2002, 23(2): 231-249.
- [7] 谭建. 基于小世界网络的企业集群知识传播模型[J]. 科技与经济, 2012, 25(6): 11-15.
- [8] 张丽娟, 李常洪. 企业合作复杂网络研究——以汽车制造业为实证的分析[J]. 科技与管理, 2007, 9(4): 32-34.
- [9] 孙庆文, 陆柳, 严广乐, 等. 不完全信息条件下演化博弈均衡的稳定性分析[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(7): 11-16.
- [10] 王先甲, 全吉, 刘伟兵. 有限理性下的演化博弈与合作机制研究[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(10): 82-93.
- [11] 郭本海, 方志耕, 刘卿. 基于演化博弈的区域高耗能产业退出机制研究[J]. 中国管理科学, 2012, 20(4): 79-85.
- [12] TAYLOR P D, JONKER L B. Evolutionary stable strategies and game dynamics[J]. Mathematical Biosciences, 1978, 40(1-2): 145-156.
- [13] 陈悦峰, 董原生, 邓立群. 基于 agent 仿真平台的比较研究[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(S1): 110-116.